

**ПОЛУЧЕНИЕ КОКСА  
УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА  
В УСЛОВИЯХ МЕЖБАСЕЙНОВОЙ  
СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ  
ПАО «ЗАПОРОЖКОКС»**

© 2012 Гусак В.Г. (Метинвест Холдинг),  
Дроздник И.Д., к.т.н.,  
Кафтан Ю.С., к.т.н.,  
Торяник Э.И., к.т.н.,  
Мирошниченко Д.В., к.т.н. (УХИИ),  
Рубчевский В.Н., к.т.н.,  
Чернышов Ю.А., к.т.н.,  
Овчинникова С.А., Подлубный А.В.  
(ПАО «Запорожжкокс»)

*Разработаны варианты составов угольных шихт ПАО «Запорожжкокс», включающие от 45 до 70 % импортных углей (Россия, США) и обеспечивающие получение высококачественного кокса марки «Премиум» (КДП2). Указанные составы угольных шихт были проверены «ящичными» коксованиями в условиях бат. № 5-6 ПАО «Запорожжкокс». По результатам испытания «ящичных» коксов дан прогноз свойств промышленного кокса.*

*Показатели барабанной («холодной») прочности полученного кокса из разработанных шихт составили:  $M_{25} = 90,0-90,7$  %;  $M_{10} = 6,5-7,0$  %. Величина «горячей» прочности находится в пределах значений  $CRI = 33,0-36,1$  %,  $CSR = 47,9-53,5$  %.*

*Структурная прочность и абразивная твердость опытных коксов имеют значения, характерные для высококачественного металлургического кокса.*

*The variants of coal charges comprising 45-70 % imported coals (Russia, USA) for the obtaining the high quality coke brand "Premium" (KDP 2) were developed. For these charges were carried out a "box" cokings on the batteries № 5-6 of JSC "Zaporozhkoaks" As a result of testing the "box-coke" the forecast of the properties of the industry coke was made.*

*Indicators of a drum ("cold") strength of the industrial coke, obtained from developed charges were as follows:  $M_{25} = 90,0-90,7$  %,  $M_{10} = 6,5-7,0$  %. The value of "hot" strength is in the range of values of  $CRI = 33,0-36,1$  %,  $CSR = 47,9-53,5$  %.*

*The structural strength and abrasive hardness of experimental cokes have values, which are characteristic for high-quality metallurgical coke.*

Ключевые слова: коксование, межбассейновая сырьевая база, технологические свойства, петрографические характеристики, «ящичные коксования», кокс, «холодная» и «горячая» прочность.

Требования к коксу улучшенного качества установлены действующими техническими условиями на кокс марки «Премиум» [1]. Показатели качества кокса марки «Премиум» должны соответствовать следующим значениям:

- зольность – не более 11 %;
- содержание серы – не более 1 %;
- выход летучих веществ – не более 1 %;
- показатели механической прочности  $M_{25}$  – на уровне 87-88 %,  $M_{10}$  – 7,2-7,5 %;
- индекс реакционной способности кокса CRI – 29-35 %;
- прочность кокса после реакции CSR – 48-56 %.

Кокс с такими показателями относят к марке «Премнум» и делят на группы (КДП-1, КДП-2, КДП-3).

Исходя из этих требований, угольные шихты должны иметь зольность не более 8,5 %, содержание серы – до 1 %, показатель отражения витринита – в пределах 1,05-1,10 %. При этом желательно, чтобы выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ) не превышал 30 %, а индекс основности ( $I_o$ ) шихты был менее 2,5.

Анализ ресурсов коксующихся углей Украины показывает, что как в настоящее время, так и в перспективе сырьевая база коксохимических заводов Украины будет носить дефицитный характер. В связи с этим, долевое участие импортных углей в шихте к

2015 г. может достигнуть 45-50 % [2, 3]. Следовательно, при разработке составов шихт для получения улучшенного качества кокса необходимо использование как украинских, так и импортных углей.

Исходя из этого, в состав опытных шихт были включены шесть украинских, три российских и два американских угля, имеющих в ресурсах компании «Метинвест Холдинг», осуществляющей поставку углей на ПАО «Запорожжкокс».

Газовые угли представлены концентратами ЦОФ «Добропольская» (Донбасс) и разреза «Новоказанский» (Кузбасс), которые заметно различаются по содержанию серы, выходу летучих веществ, отражательной способности витринита и его рефлектограмме, а также индексу основности (табл. 1, 2). Технологическая ценность угля ЦОФ «Добропольская» выше с точки зрения обеспечения «холодной» прочности кокса, а угля разреза «Новоказанский» – с точки зрения обеспечения «горячей» прочности за счет низких значений содержания серы и индекса основности.

Таблица 1

Технологические свойства исследованных углей

Поставщик	Марка по ДСТУ 3472-96	Технический анализ, %			Пластометрические показатели, мм		Индекс основности, $I_o$
		$A^d$	$S_t^d$	$V^{daf}$	х	у	
ЦОФ «Добропольская»	Г	8,5	1,76	37,6	37	12	3,86
Р-з «Новоказанский», РФ	Г	8,2	0,51	40,3	32	11	2,01
«Locust Thicket», США	Ж	8,7	0,87	33,6	18	25	2,24
Ш. им. Скочинского	Ж	6,7	0,97	32,3	13	17	2,19
ЦОФ «Киевская»	Ж	8,2	1,42	32,4	2	25	4,76
Ш. «Мария Глубокая»	Ж	7,0	1,09	33,8	26	19	2,25
Ш. «Красноармейская Западная №1»	К	7,8	0,81	29,4	21	13	1,70
ЦОФ «Колосниковская»	К	8,6	1,47	24,7	10	19	3,41
ЦОФ «Шолоховская», РФ	КС*	9,9	0,31	24,0	38	6	2,90
ЦОФ «Нерюнгринская», РФ	ОС*	10,9	0,36	20,8	16	9	2,11
«Pocahontas», США	ОС	7,7	0,83	17,7	22	10	1,11

\*) ГОСТ 25543 - 88

Таблица 2

## Петрографическая характеристика исследованных углей

Поставщик	Марка по ДСТУ 3472-96	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					Средний показатель отражения витринита %	Стадии метаморфизма витринита, %					
								0,50-0,64	0,65-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
		Vt	Sv	I	L	$\Sigma$ ОК		Марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита					
							R <sub>0</sub>	ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т
ЦОФ «Добропольская»	Г	77	0	16	7	16	0,76	16	75	9	0	0	0
Р-з «Новоказанский», РФ	Г	86	1	11	2	12	0,64	60	40	0	0	0	0
«Locust Thicket», США	Ж	54	2	38	6	40	0,95	0	22	70	0	0	0
Ш. им. Скочинского	Ж	90	0	7	3	7	1,04	0	10	84	6	0	0
ЦОФ «Киевская»	Ж	92	0	7	1	7	1,07	0	2	96	2	0	0
Ш. «Мария Глубокая»	Ж	89	2	7	2	9	0,93	0	29	71	0	0	0
Ш. «Красноармейская Западная №1»	К	87	1	10	2	11	1,05	0	3	88	6	0	0
ЦОФ «Колосниковская»	К	93	0	7	0	7	1,38	0	0	2	64	36	0
ЦОФ «Шолоховская», РФ	КС*)	24	4	71	1	74	1,03	0	6	92	2	0	0
ЦОФ «Нерюнгринская», РФ	ОС*)	93	1	6	0	7	1,55	0	0	2	12	71	15
«Pocahontas», США	ОС	67	2	31	0	33	1,56	0	0	0	3	93	4

\*) ГОСТ 25543 - 80

Группа жирных углей включает три украинских угля (ш. им. Скочинского, ш. «Мария Глубокая», ЦОФ «Киевская») и американский уголь «Locust Thicket».

Все жирные угли, кроме американского, петрографически однородны. Содержание мацералов группы витринита составляет в них 89-92 %, показатель отражения витринита имеет значение от 0,93 до 1,07 %. В составе витринита преобладают составляющие, соответствующие жирным углям (71-96 %). В американском угле содержание мацералов группы витринита составляет всего 54 %, в то время как содержание неспекающихся мацералов группы инертинита равно 38 %. Это заметно снижает технологическую ценность указанного угля, так как значи-

тельная часть потенциала его спекаемости расходуется на запекание большого количества собственного неспекающегося материала.

Марка К представлена углями шахт «Красноармейская Западная №1» (ныне шахтоуправление «Покровское») и «Суходольская Восточная «ПАО «Краснодонуголь» (обогащаемыми на ЦОФ «Колосниковская»). Оба угля петрографически однородны, имеют содержание витринита 87-93 %. Уголь ш. «Красноармейская Западная №1» относится к маловосстановленным, характеризуется низким содержанием серы (0,81 %) и благоприятным химическим составом минеральной части, что отражается соответствующим значением индекса основ-

ности – 1,70 [4]. Уголь ш. «Суходольская Восточная» (концентрат ЦОФ «Колосниковская») относится к среднесернистым типичным донецким коксовым углям.

Присадочные угли представлены концентратами ЦОФ «Нерюнгринская» и «Шолоховская» (Россия), а также углем «Rocahontas» (США). Указанные угли различаются по выходу летучих веществ (17,7-24,0 %) и зольности (7,7-10,9 %); все угли имеют низкие значения содержания серы (0,31-0,83 %). Уголь марки КС ЦОФ «Шолоховская» характеризуется пониженной спекаемостью ( $y = 6$  мм).

Уголь ЦОФ «Нерюнгринская» петрографически однороден, содержание витринита составляет 93 %, аналогичный показатель американского угля «Rocahontas» равен 67 %, а угля ЦОФ «Шолоховская» – всего 24,0 %.

Мацералы группы инертинита представлены в органической массе угля ЦОФ «Шолоховская» в количестве 71,0 %. Это обстоятельство заметно снижает технологическую ценность концентрата ЦОФ «Шолоховская».

Проведенный анализ фактических показателей технологических свойств углей и их петрографических характеристик показал, что они, в основном, соответствуют нормируемым значениям и декларируемой марочной принадлежности. Единственное отличие для отдельных углей отмечается по фактической зольности, которая заметно превышает нормируемую.

Для испытаний в опытно-промышленных условиях были приняты четыре варианта шихт (табл. 3).

Таблица 3

Марочный и компонентный составы угольных шихт

Происхождение угля	Марка	Состав шихты, %			
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4
ЦОФ «Добропольская»	Г	20	0	0	0
Р-3 «Новоказанский», РФ	Г	0	15	15	10
«Locust Thicket», США	Ж	40	0	15	15
Ш. им. Скочинского	Ж	0	20	0	20
ЦОФ «Киевская»	Ж	0	0	10	0
Ш. «Мария Глубокая»	Ж	0	0	10	0
Ш. «Красноармейская Западная №1»	К	10	20	15	0
ЦОФ «Колосниковская»	К	0	15	10	20
ЦОФ «Шолоховская», РФ	КС	0	0	0	15
ЦОФ «Нерюнгринская», РФ	ОС	15	20	10	8,5
«Rocahontas», США	ОС	15	10	15	11,5
Итого		100	100	100	100

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, содержание газовых углей изменяется в опытных шихтах в пределах от 20 до 10 %, присадочных КС и ОС – от 30 до 20 %. Сумма углей марок Ж и К при этом составляет 50-60 %. Количество импортных углей в

опытных шихтах колеблется в пределах от 45 до 70 %.

В табл. 4-6 приведены значения показателей технологических свойств, петрографических характеристик и химического состава золы опытных шихт.

Таблица 4

## Технологические свойства опытных угольных шихт

Вариант шихты	Показатели технического анализа, %				Пластометрические показатели, мм	
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	x	y
1	8,8	0,69	27,0	29,6	26	16
2	8,4	0,65	25,3	27,6	15	14
3	8,3	0,78	26,7	29,1	21	16
4	8,5	0,72	25,3	27,7	20	15

Как видно из данных, приведенных в табл. 4, зольность шихт только в одном случае (вар. 1) больше значения 8,5 %, превышая последнее на 0,3 %. Содержание серы в опытных шихтах намного ниже 1,0 % и колеблется в пределах 0,65-0,78 %. Выход летучих веществ не превышает предельного значения, равного 30 %.

Несколько хуже обстоит дело с показателем толщины пластического слоя, который только у шихты вариантов 1 и 3 равняется 16 мм. Для шихты варианта 4 он несколько ниже нормируемого (y = 15 мм), а для варианта 2 меньше нормируемого на 2 мм, что должно отразиться прежде всего на показателе истираемости получаемого из этой шихты кокса.

Таблица 5

## Петрографическая характеристика опытных угольных шихт

Вариант шихты	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					Средний показатель отражения витринита %	Стадии метаморфизма витринита, %					
							0,50-0,64	0,65-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
	Vt	Sv	I	L	Σ ОК	R <sub>o</sub>	Марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита					
						ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т	
1	71	1	24	4	25	1,16	2	19	41	5	30	3
2	88	1	10	1	11	1,20	7	8	32	23	28	2
3	82	0	16	2	16	1,11	1/9	10	44	11	23	2
4	68	2	28	2	30	1,19	4	7	41	22	25	1

Таблица 6

## Химический состав золы и индексы основности опытных угольных шихт

Вариант шихты	Массовая доля в золе, %								Индекс основности, I <sub>0</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	
1	52,94	25,11	8,48	1,26	2,80	1,00	2,00	1,77	2,49
2	50,95	24,46	9,98	1,64	3,33	1,00	2,00	2,59	2,76
3	53,9	23,82	9,23	1,51	2,45	1,00	2,00	1,80	2,44
4	51,45	24,47	10,47	1,76	3,33	1,00	2,00	2,40	2,87

Для исследованных вариантов шихты средний произвольный показатель отражения витринита (табл. 5) изменяется в пределах от 1,11 до 1,20 %, что достаточно близко к значениям этого показателя у шихт основных мировых производителей кокса.

Химический состав золы разработанных угольных шихт (табл. 6) характеризуется невысоким содержанием основных окислов. В связи с этим, хотя индекс основности шихт и превысил предельный уровень, равный 2,5, однако это превышение минимально, что не должно было заметно ухудшить показатели «горячей» прочности.

В целом, уровень технологических свойств и петрографических характеристик опытных шихт весьма близок к тому, который требуется для производства кокса улучшенного качества.

Для загрузки ящиков с шихтой были выбраны камеры № 523, 615 и 619, у которых в смежных простенках обеспечивалось поддержание заданной кривой распределения температур, что при периоде коксования, равном 20 ч, обеспечило высокую готовность полученных «ящичных» коксов. Это подтверждается низкими значениями выхода летучих веществ, а также данными абразивной твердости вещества кокса (табл. 7).

После выдачи ящики вскрывали и подсушивали кокс в течении 24 ч при температуре 120 °С. Определяли выход сухого валового кокса, показатели технического анализа, «холодной» и «горячей» прочности, а также структурной прочности и абразивной твердости (табл. 7 и 8).

Таблица 7

Качественные показатели лабораторного кокса

Вариант шихты	Показатели технического анализа, %			Структурная прочность по Грязнову, %	Абразивная твердость по Гинсбургу, мг	Реакционная способность по ДСТУ 4703:2006, %	
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>			CRI	CSR
2	11,3	0,68	0,4	82	100	35,3	49,1
3	10,0	0,70	0,2	84	105	33,0	53,5
4	10,8	0,66	0,5	85	106	36,1	47,9

Таблица 8

Выход и качество лабораторного кокса и прогнозируемые показатели выхода и качества промышленного кокса

Вариант шихты	Выход и прочность лабораторного кокса, %			Прогнозируемые показатели выхода и прочности промышленного кокса, %		
	V <sub>вал.сух.</sub>	П <sub>25</sub>	И <sub>10</sub>	V <sub>вал.сух.</sub>	М <sub>25</sub>	М <sub>10</sub>
1	75,84	93,6	5,5	75,84	90,6	6,5
2	76,98	93,0	6,0	76,98	90,0	7,0
3	75,90	93,4	5,5	75,90	90,4	6,5
4	76,87	93,7	5,9	76,87	90,7	6,9

Зольность опытных коксов колебалась в пределах 10,0-11,6 %, содержание серы – 0,66-0,72 %. Выход сухого валового кокса изменялся в соответствии с выходом летучих веществ в исходных шихтах. Максимальное значение выхода кокса было получено из шихт вар. 2 и 4.

Показатели «холодной» прочности кокса, приведенные к промышленным значениям (табл. 8), для всех вариантов весьма близки. Так, показатель  $M_{25}$  для коксов этих вариантов составил величину, равную 90,0-90,7 %, а показатель  $M_{10}$  – 6,5-7,0 %.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Кокс, полученный из опытных шихт вариантов 1-4, по показателям «холодной» и «горячей» прочности соответствует требованиям, предъявляемым к коксу марки «Премнум» (КДП 2).

2. Величина значений структурной прочности и абразивной твердости опытных коксов соответствует значениям, характерным для высококачественного металлургического кокса.

3. Проведенные опытно-промышленные коксования подтвердили возможность полу-

чения высококачественного низкорекционного металлургического кокса в условиях батарей 5-6 ПАО «Запорожжкокс» из специально разработанных шихт, включающих от 45 до 70 % импортных углей.

#### Библиографический список

1. ТУ У 23.1 – 00190443 – 086: 2006. «Кокс доменный марки «Премнум».

2. Ковалев Е.Т. Возможность получения высококачественного низкорекционного металлургического кокса в условиях существующей угольной сырьевой базы Украины / Е.Т.Ковалев, И.Д.Дроздник // Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 4-11.

3. Гусак В.Г. О марочной структуре и технологических свойствах углей, импортируемых в Украину для коксования / В.Г.Гусак, И.Д.Дроздник // Углехимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 3-11.

4. Ковалев Е.Т. О коксующести угля шихты «Красноармейская Западная № 1» / Е.Т.Ковалев, И.Д.Дроздник, А.Р.Давидзон, И.В.Золотарев // Уголь Украины. – 2001. – № 11-12. – С. 22-24.

Рукопись поступила в редакцию 08.12.2011